

Approved For Release STAT  
2009/08/19 :  
CIA-RDP88-00904R000100120

Dec

Approved For Release  
2009/08/19 :  
CIA-RDP88-00904R000100120



Вторая Международная конференция  
Организации Объединенных Наций  
по применению атомной энергии  
в мирных целях

A/CONF/15/P/2087  
USSR  
ORIGINAL: RUSSIAN

Не подлежит оглашению до официального сообщения на Конференции

СИСТЕМА РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ РАБОТЕ С  
РАДИОАКТИВНЫМИ ИЗОТОПАМИ

К.К.Аглинцев, М.А. Бак, В.В.Бочкарев,  
Е.Г.Грачева, З.В.Ершова, К.А.Петржак

При увеличивающемся использовании радиоактивных изотопов в технике, медицине, сельском хозяйстве, промышленности и в научных исследованиях, а также при разнообразных применениях источников излучений возникает необходимость определять количества радиоактивных веществ в широком диапазоне величин (нижняя граница — предельно-допустимые содержания радиоактивных веществ в воде и воздухе), измерять интенсивности  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  и нейтронных излучений.

В докладе указывается на целесообразность пользоваться в таких случаях унифицированными методами измерений, что обеспечит получение сопоставимых результатов различных лабораторий. Рекомендуемая система радиометрических измерений базируется на применении единой системы единиц, эталонных методов и установок, а также методов относительных измерений с помощью образцовых излучателей.

Система радиометрических измерений

Одна из основных задач лабораторной радиометрии сводится к измерению интенсивности излучения препаратов. Для перехода от результатов измерений к значениям активности или к количеству радиоактивного вещества, содержащегося в препаратах, необходимо знать, помимо физических характеристик излучений, известных из опубликованных таблиц изотопов, также ряд данных о препарате.

Основными параметрами препаратов являются: активность, химический и изотопный состав, полное и внешнее излучения, размеры,

25 YEAR RE-REVIEW

- 2 -

вес, а также материал и толщина оболочки.

Для обеспечения правильности и единообразия измерений в области дозиметрии, радиометрии и нейтронметрии необходимо:

- а) унифицировать единицы измерения,
- б) создать эталоны, эталонные методы и эталонные установки, воспроизводящие размер единиц,
- в) создать образцовые меры и образцовые измерительные установки, служащие для передачи правильного размера единиц от эталонов к препаратам и измерительным приборам,
- г) разработать систему и методы градуировки измерительной аппаратуры и паспортизации препаратов.

Последовательность операций для передачи от эталона или эталонной установки к эксплуатируемой аппаратуре или серийным препаратам описывается поверочной схемой. Ниже рассматриваются поверочные схемы для измерений активности в кюри, гамма-эквивалентах, в грамм-эквивалентах радия; дозы в рентгенах и для определения абсолютного числа нейтронов.

Единица кюри воспроизводится с помощью эталонных методов, подобно описанных в литературе (1 - 2). Эти методы позволяют определить число распадов в единицу времени в препаратах, т.е. численное значение произведения из постоянной распада  $\lambda$  на число атомов  $N$  радиоактивного изотопа. Первичного эталона, воспроизводящего единицу кюри, не существует, хотя его можно создать, используя долгоживущие  $\alpha$ -активные изотопы (например,  $Pu^{239}$ ). Для изготовления эталона кюри необходимо взять препарат, у которого независимыми методами найдены значения  $\lambda$  и  $N$ . Постоянная распада может быть найдена колориметрическим методом, а число атомов  $N$  в препарате - весовым. Технические трудности изготовления подобного эталона очень велики, поэтому целесообразно исходить из эталонных методов измерения активности.

В настоящее время для измерений в кюри активности  $\alpha$ -излучающих изотопов применяются несколько типов эталонных установок, перечисленных в табл. 1.

Для измерения активности  $\beta$ -излучающих изотопов применяются типы эталонных установок, приведенные в табл. 2.

Установка, служащая для измерений активности, может считаться эталонной в том случае, если параметры установки определены с метрологической точностью. Кроме того, численные значения всех

- 3 -

величин, входящих в уравнение для расчета активности, должны быть известны с возможно более высокой точностью. Число различных поправок должно быть сведено к минимуму.

Таблица 1

Тип установки	Пределы измерений, кюри	Погрешность, %
Счетчики газовые или стинтилляционные с геометрией 2П или 4П	$\leq 10^{-7}$	0,5 - 1
Импульсная камера с ограниченным телесным углом	$\leq 1$	1 - 2
$\alpha$ - калориметр	$\geq 10^{-2}$	2

Таблица 2

Тип установки	Пределы измерений, кюри	Погрешность, %
Счетчики с геометрией 4П, сцинтилляционные или газовые, работающие в режиме ограниченной пропорциональности	$5 \times 10^{-11} - 5 \times 10^{-7}$	2 - 4
Счетчик, работающий в области Гейгера с определенным значением телесного угла (источник и счетчик помещены в общий герметичный сосуд)	$10^{-8} - 10^{-1}$	2 - 4
$\beta$ - ионизационная камера	$10^{-7} - 10^{-3}$	3 - 7
$\gamma$ - ионизационная камера	$\geq 10^{-4}$	3 - 7
$\beta$ - калориметр	0,01 - 10	2 - 3
$\gamma$ - калориметр	$\geq 0,05$	2 - 3
Счетчик $\beta$ - $\gamma$ совпадений	$10^{-8}$	2 - 5

В основу поверочной схемы для измерений активности радиоактивных препаратов в кюри положены эталонные методы, служащие для воспроизведения размера единицы кюри  $\alpha$  - или  $\beta$  - активных веществ.

- 4 -

Препараты, активность которых измерена на одной из эталонных установок, называются образцовыми препаратами I разряда. В тех случаях, когда активность измеряется на установках со счетчиками или ионизационными камерами, препараты должны быть "точками", нанесенными на "тонкую" подложку. При измерении в геометрии  $2\pi$  допускается нанесение препаратов на "толстую" подложку. При измерениях с помощью калориметров препараты могут быть "толстыми" или заключенными в оболочку.

Представляется необходимым иметь еще промежуточные образцовые препараты II разряда, активность которых устанавливается сличением их с препаратами I разряда.

Сличение образцовых препаратов I и II разрядов и рабочих препаратов с образцовыми препаратами II разряда производится на установках, перечисленных в таблицах 1 и 2.

$\gamma$  - эквивалент препаратов измеряется в грамм-эквивалентах радия и, таким образом, радиевый эталон воспроизводит единицу  $\gamma$ -эквивалента. Обычно подразумевается, что препарат радия, находящийся в равновесии с короткоживущими продуктами распада до  $RaC'$  и  $RaC''$  включительно, заключен в определенную оболочку, обычно в платиновый фильтр толщиной  $d = 0,5$  мм.

Гамма - эквивалент препарата определяется из соотношения

$$R = \frac{A \sum \eta_i (\tau + \sigma_{\beta})_i e^{-\mu_i d} B_i}{M \sum \eta_k (\tau + \sigma_{\beta})_k e^{-\mu_k d} B_k} \quad (1)$$

В соотношении /1/ числитель относится к  $\gamma$  - излучателям, знаменатель - к эталону радия;  $(\tau + \sigma_{\beta})_i$  - коэффициенты поглощения в стенках камеры  $\gamma$  - излучения с энергией квантов  $h\nu_i$ ;

$\mu_i$  - коэффициент ослабления в веществе фильтра;

$B_i$  - множитель возрастания в узком пучке  $B = 1$ );

$\eta$  - число квантов с энергией  $h\nu$  на милликюри  $\gamma$  - излучателя или на миллиграмм радия;

$A$  - активность  $\gamma$  - излучателя в милликюри;

$M$  - содержание радия в миллиграммах.

Как известно, значение  $\gamma$  - эквивалента препарата зависит от материала и толщины фильтров, материала и толщины стенок ионизационной камеры, взаимного расположения и размеров камеры и препарата, т.е. гамма-эквивалент характеризует действие  $\gamma$  - излу-

- 5 -

чения препарата в конкретных условиях измерения. Измерения с помощью фотопленок или счетчиков дадут другое значение гамма-эквивалента.

В основу поверочной схемы для измерений гамма-эквивалентов положен государственный радиовый эталон. Рабочие эталоны перекрывают необходимый для практики диапазон значений гамма-эквивалента от  $10^{-9}$  до 10 г радия; они сличаются с государственным эталоном с помощью ионизационной камеры с геометрией  $4\pi$  на эталонной установке.

Непосредственное сличение возможно лишь при условии, если содержание радия в государственном и рабочем эталонах различается не более чем в 3 - 3,5 раза. Определение содержания радия в рабочих эталонах, отличающихся от государственного эталона более чем в 3,5 раза, производится или последовательным переходом через рабочие эталоны с содержанием радия, более близким к государственному эталону, или методом скользящего радонового препарата. Сравнение производится с помощью ионизационных камер с воздушно-эквивалентными стенками. Для слабых препаратов, с значениями гамма-эквивалента ниже  $10^{-3}$  г экв. радия, допускается сравнение с помощью счетчиков. В этом случае точность установления гамма-эквивалента будет значительно ниже. Образцовые препараты I разряда изготавливаются из радия  $\text{Co}^{60}$ ,  $\text{Cs}^{137}$  и  $\text{Hg}^{203}$ .

Полное  $\gamma$ -излучение препарата может быть измерено с помощью шаровых калориметров; сравнение с препаратами радия с помощью ионизационной камеры с воздушно-эквивалентными стенками в геометрии  $4\pi$  позволяет найти внешнее  $\gamma$ -излучение препарата. Сопоставление полного и внешнего излучений препарата позволяет установить самопоглощение  $\gamma$ -излучения в препарате.

Внешнее  $\gamma$ -излучение в узком пучке измеряется и с помощью рентгенметра.

В основу первичной схемы для измерения в рентгенах положен эталонный метод воспроизведения рентгена по измерению ионизации воздуха. Он осуществляется с помощью плоских воздушных ионизационных камер различного размера для диапазонов напряжений 5-20, 20-60, 60-300 и 300-3000 кэв.

Поверка рентгенметров производится методом замещения, т.е. путем поочередного помещения в определенный пучок рентгеновских или  $\gamma$ -лучей ионизационных камер эталонной установки и пове-

- 6 -

ряемого рентгенметра. Рентгенметр, поверенный по эталонной установке, будет служить образцовым рентгенметром.

Эталонная установка используется и для установления значений мощности дозы в  $R$ /час на определенном расстоянии ( $1$  м) от  $\gamma$  - излучателя. Препарат, поверенный на образцовой установке, будет служить образцовой мерой мощности  $\gamma$  - излучения.

В поверочной схеме для измерений в рентгенах находят отражение оба направления эталонирования. Образцовые рентгенметры так же, как и образцовые препараты, служат для проверки серийных рентгенметров и серийных препаратов  $\gamma$  - излучателей.

Гамма - эквивалент препарата - величина, связанная с мощностью дозы  $\gamma$  - излучения. Эта связь основана на экспериментально установленном факте, что  $1$  г радия, заключенный в фильтр  $0,5$ -мм платины и находящийся в равновесии с короткоживущими продуктами распада, создает на расстоянии  $1$  м мощность дозы  $0,84$   $R$ /час. Это соотношение между содержанием радия и создаваемой им мощностью дозы получается с помощью установок для измерений в рентгенах и поэтому радиевый эталон не может рассматриваться, как эталон для воспроизведения единицы мощности дозы, а оказывается лишь образцовой мерой.

#### Образцовые $\alpha$ -излучатели

Образцовые  $\alpha$  - излучатели предназначаются для градуировки  $\alpha$  - счетной и  $\alpha$  -спектрометрической аппаратуры по числу и энергии  $\alpha$  - частиц. Эти же препараты могут применяться в качестве источников силы тока.

Современные экспериментальные методы изучения интенсивности и энергетического спектра  $\alpha$  - частиц позволяют установить физические характеристики и основные параметры используемых радиоактивных препаратов в качестве первичных и вторичных образцовых  $\alpha$  -излучателей.

Первичные образцовые  $\alpha$  - излучатели служат для калибровки вторичных образцовых  $\alpha$  -излучателей по числу и энергии  $\alpha$  -частиц, а также для градуировки  $\alpha$  - счетной и  $\alpha$  - спектрометрической аппаратуры. Вторичные образцовые препараты служат для калибровки рабочих и серийных  $\alpha$  -препаратов.

Установлена следующая шкала активности образцовых  $\alpha$  -излучателей (расп/мин):  $30$ ,  $100$ ,  $300$ ,  $1000$ ,  $3000$ ,  $10\ 000$ ,  $30\ 000$ ,  $100\ 000$ ,  $300\ 000$ ,  $1\ 000\ 000$ ,  $3\ 000\ 000$ ,  $10\ 000\ 000$ ,  $30\ 000\ 000$ ,  $100\ 000\ 000$ .

- 7 -

Величина интенсивности отдельных образцовых  $\alpha$  - излучателей может отклоняться от указанной шкальности не больше чем на 20%.

В качестве радиоактивного вещества для изготовления первичных и вторичных  $\alpha$  - излучателей приняты  $U^{233}$ , уран  $U^{236}$ , уран естественный,  $Pu^{239}$  и  $Am^{241}$ .

Из-за значительного поглощения  $\alpha$  - частиц в собственном слое  $\alpha$  -излучатели из естественного  $U$  и  $U^{236}$  охватывают не весь диапазон шкальности. Образцовые  $\alpha$  -излучатели, изготовленные из  $U^{233}$ , допускают содержание примеси  $U^{232}$  не больше чем 0,1% по числу распадов.

Активное вещество образцовых  $\alpha$  - излучателей обычно наносится электролитически в виде пятна диаметром  $10 \pm 1$  мм на платиновый диск диаметром от 15 до 20 мм.

Технология изготовления образцовых  $\alpha$  -излучателей должна обеспечивать получение прочных равномерных тонких слоев.

Интенсивности излучения препаратов устанавливаются с помощью импульсной ионизационной камеры с электронным собиранием, при этом используется усилитель с полосой пропускания до 2,5 - 3 МГц. Активности до 30 000 распадов в минуту измеряются в ионизационной камере со значением телесного угла  $4\pi$  или  $2\pi$  (3). Активности от 30 000 и выше измеряются при малых значениях телесных углов (метод  $\alpha$  - пушки). Точность при измерениях с геометрией  $4\pi$  или  $2\pi$  должна быть 0,5 - 1%.

Калибровка вторичных образцовых  $\alpha$  - препаратов (препаратов II разряда) обычно производится в ионизационных камерах путем сравнения с первичными образцовыми  $\alpha$  - препаратами (препаратами I разряда).

Каждый из компонентов образцовых  $\alpha$  - излучателей I и II разрядов содержит следующие источники:

- а)  $U^{233}$  по 1 штуке: 30, 100, 300, 3000, 10 000, 30 000, 100 000 расп/мин;
- б) плутоний  $^{239}$  по 1 штуке: все указанные выше 12 значений интенсивности;
- в) америций  $^{241}$  по 1 штуке: от 1000 до 10 000 000;
- г) естественный уран по 1 штуке: от 30 до 3000;
- д) уран  $^{236}$  по 1 штуке: 1000, 3000, 10 000.

Каждый образцовый  $\alpha$  - излучатель снабжается паспортом, где

- 8 -

указаны активность препарата, выраженная в числе распадов в минуте в угле  $2\pi$ ; изотопный состав, количество радиоактивных примесей, данные о периоде полураспада, принятая схема распада и энергия  $\alpha$ - частиц, поверхностная плотность и весовые количества активного вещества, размер активного пятна; материал, толщина, вес и диаметр подложки; метод и дата измерения.

### Образцовые $\beta$ - излучатели

Для паспортизации  $\beta$  - активных препаратов, в частности измерения их активности в зависимости от характера интенсивности излучения и других условий, используется большое число различных методов (см. табл. 2).

Для массовых радиометрических измерений, в силу их сравнительной простоты и доступности при достаточной для практических целей точности определений, наибольшее распространение получил метод счетчиков с определенным значением телесного угла. Однако даже при использовании этого метода (например, торцовых счетчиков) абсолютные измерения активности требуют сравнительно сложной обработки результатов измерений, внесения различных типов поправок, зависящих от условий измерений, характеристики излучения и параметров препарата и счетного устройства (4 - 5).

В связи с этим для массовых определений активности большое значение приобретают относительные измерения, проводимые с помощью эталонов или образцовых  $\beta$  - излучателей.

Используя образцовые излучатели, можно не только контролировать воспроизводимость показаний счетного устройства (а с помощью серии образцов различной активности - производить градуировку приборов), но, что особенно важно, - можно значительно снизить трудности абсолютных измерений  $\beta$  - препаратов.

Особенно полезно применение образцовых излучателей при необходимости сопоставления результатов измерений, проводимых в разных лабораториях.

Если образец приготовлен из того же изотопа, что и исследуемый источник (или они имеют близкие энергии излучения), и измерения проводятся в одинаковых условиях, то активность источника легко может быть определена относительным измерением, без внесения каких-либо поправок, кроме поправок на фон, разрешающее время устройства и при необходимости на схему распада.

- 9 -

Для радиометрических измерений необходимые образцовые  $\beta$ -излучатели с широким интервалом энергий, т.к. эффективность счетных устройств является функцией энергии исследуемого излучения.

Серия таких образцовых  $\beta$ -излучателей должна удовлетворять двум основным требованиям: 1) изотопы, применяемые для этой цели, должны обладать сравнительно большим периодом полураспада и простым спектром излучения; при этом серия образца должна покрывать широкий диапазон энергий излучения, чтобы можно было измерять активности различных изотопов;

2) препарат следует наносить на подложку тонким равномерным слоем; образец должен быть механически прочен, химически устойчив, негигроскопичен и предохранен от возможности изотопного обмена с внешней средой.

Рекомендуется для приготовления образцовых  $\beta$ -излучателей следующие изотопы в дополнение к стандартам из  $RaD + RaE$  ( $E=1,17$  Мэв) и  $Ux_1 + Ux_2$  ( $E=2,3$  Мэв),  $H^3$  ( $E=0,018$  Мэв,  $T=12,4$  года),  $P^{32}$  ( $E=0,021$  Мэв,  $T=14$  лет),  $C^{14}$  ( $E=0,155$  Мэв,  $T=5570$  лет),  $S^{35}$  ( $E=0,167$  Мэв,  $T=87,1$  дня),  $Ca^{45}$  ( $E=0,255$  Мэв,  $T=152$  дня),  $Co^{60}$  ( $E=0,31$  Мэв,  $T=5,3$  года) и  $W^{185}$  ( $E=0,43$  Мэв,  $T=73,2$  дня),  $Tl^{204}$  ( $E=0,77$  Мэв,  $T=3,5$  года), а также менее удобные (первый - ввиду малого периода полураспада, а второй - ввиду наличия второй компоненты), но весьма необходимые в лабораторной практике -  $P^{32}$  ( $E=1,704$  Мэв,  $T=14,3$  дня) и  $Sr^{90} + Y^{90}$  ( $E_{Sr}=0,61$  Мэв,  $E_Y=2,2$  Мэв,  $T=27,7$  года).

Такие образцовые излучатели могут быть приготовлены нанесением на тонкую органическую пленку раствора изотопа или путем включения изотопов в состав органического вещества пленки, а также - другими путями, например с помощью химического или электролитического осаждения и т.д.

Так, образцовые излучатели из  $Co^{60}$  и  $Tl^{204}$  в диапазоне активности от  $10^4$  до  $10^6$  расп/мин могут быть получены электролитическим путем. При этом образцы из  $Co^{60}$ , с толщиной активного слоя до  $50$  мкг/см<sup>2</sup>, высаживаются электролизом из ванны следующего состава: калий хлористый, борная кислота, формалин и кобальт хлористый с  $Co^{60}$  (плотность тока  $\sim 2,5$  ма/см<sup>2</sup>). Образцы из  $Tl^{204}$ , с толщиной активного слоя не более  $60$  мкг/см<sup>2</sup>, осаждаются из электролита, в состав которого входят: трилон "Б", аммиак, сернокислый таллий с  $Tl^{204}$ , клей силикатный (плотность тока до

- 10 -

40 ма/см<sup>2</sup>). Образцы с  $C^{I4}$  готовятся в виде пленки толщиной не более 60 мкг/см<sup>2</sup> из полистирола или полиметилметакрилата, меченных  $C^{I4}$  (6-7).

В паспорте к образцовому излучателю должны содержаться сведения о методе измерения величин всех введенных поправок и данные по активности на момент измерения. Указываются также принятые схема распада изотопа и значение периода полураспада, размер, состав, вес и толщина слоя препарата, данные о радиоактивных примесях. Срок годности паспорта для долгоживущих препаратов ( $T > 5$  лет) 1 год, для короткоживущих один период полураспада (но не более 1 года). При этом принимается, что радиоактивные загрязнения (примеси) не должны превышать 0,5% по активности в течение срока годности препарата.

Определение активности  $\beta$ -излучающих препаратов путем относительных измерений производится с помощью образцовых излучателей II разряда непосредственным сравнением. В тех случаях, когда измеряемый препарат не может быть нанесен тонким слоем, готовится специальный образцовый излучатель путем смешивания препарата II разряда с инертным наполнителем; при этом у приготовленного препарата размер, вес, состав и толщина слоя должны быть такими же, как у измеряемого.

Естественно, что сравниваются образцы с одинаковыми изотопами; если же изотопный состав или другие параметры препарата, кроме величины активности, отличны от соответствующих параметров образцового излучателя, то необходимо вводить поправки. Это же относится к геометрическим условиям измерений.

Точность паспортного значения активности образцовых излучателей должна быть возможно более высокой и для перечисленных изотопов лежать в пределах от 2 до 7%, в зависимости от энергии излучения и активности излучателя.

Особую задачу составляет определение активности образца, состоящего из двух или нескольких различных изотопов и имеющего, следовательно, сложный  $\beta$ -спектр, изменяющийся со временем. Это имеет место для смесей изотопов одного или нескольких элементов, а также для генетически связанных пар радиоактивных элементов.

Такие определения проводятся с помощью  $\beta$ - или  $\gamma$ -спектрометров, позволяющих проанализировать состав излучения и в ряде случаев относительную интенсивность отдельных компонент.

2037

## - II -

Если известен состав изотопов в смеси, то процентное содержание отдельных компонент и их активность можно определить с помощью сравнительно несложных радиометрических приемов.

Выбор метода анализа зависит от свойств изотопов данной смеси - периодов полураспада, вида и энергии излучения и основывается на использовании различий этих свойств.

При различии в периодах полураспада такой анализ осуществляется путем снятия кривых распада по измерениям активности ("счетности") смеси в различные моменты времени. При различии по энергии излучения анализ осуществляется путем измерения образца несколькими датчиками, имеющими различную чувствительность к излучениям разных компонент смеси, датчиком с амплитудным дискриминатором и т.п.

Долю каждого изотопа в этих случаях можно определить либо путем решения системы уравнений, число которых (по числу различных независимых измерений) должно быть не менее числа компонент смеси, либо с помощью калибровочных таблиц и кривых.

#### Эталонирование нейтронных источников

Наиболее распространенными лабораторными нейтронными источниками являются препараты, в которых бериллий облучается частицами или  $\gamma$ -квантами естественных излучателей. Такие источники обладают сравнительно хорошей стабильностью, компактностью и воспроизводимостью.

К числу основных параметров  $Ra-Be$  источников относятся: абсолютное число нейтронов, испускаемых источниками в сек., количество радия и его химическое соединение, количество содержащегося бериллия и размер его зерна; способ приготовления смеси соли радия с бериллием (источник прессованный или насыпной); форма, вес и материал оболочки и, кроме того, характер асимметрии в интенсивности нейтронного излучения ( 8 ).

В качестве образцовых источников нейтронного излучения приняты  $Ra-Be$  источник,  $Ra-Be$  источник и  $Pu-Be$  источник.

При изготовлении  $Ra-Be$  источников принята методика, описанная в работе ( 9 ), т.е. источники готовятся методом прессования. Источники имеют цилиндрическую форму, причем диаметр и длина их примерно одинаковы. Весовые отношения бериллия в радий выбраны близкими к оптимальному и соответствуют отношению 6 : 1. Радий берется в виде соли  $RaBr_2$ . В нем не более 5% бария.

- 12 -

Размеры зерен порошкообразного металлического бериллия, 5-50 мк, плотность его после прессования в смеси с радием не менее  $1,4 \text{ г/см}^3$ .

Фотонейтронный Ra-Be источник представляет собой бериллиевый шар диаметром 4 см с помещенной в центре его ампулой, содержащей 300 мг радия. Источник изготавливается по типу, описанному в работе (10). При этом количество нейтронов, испускаемых ампулой с радием в отсутствие бериллия, не должно превышать  $10^3$  нейтронов в секунду (происхождение этих нейтронов объясняется присутствием небольшого количества легких элементов).

Pu-Be источник изготавливается в виде интерметаллического соединения плутония  $\text{Pu}^{239}$  с бериллием  $\text{PuBe}_{13}$  и содержит около 10 г Pu.

В настоящее время приняты следующие методы определения абсолютного числа нейтронов, испускаемых нейтронными источниками.

1. Метод, основанный на регистрации измерения потока нейтронов в графитовой призме реактора при внесении в нее источника нейтронов и поглотителя с последующим измерением абсолютной  $\beta$ -активности поглотителя по  $\beta$ - $\gamma$ -совпадениям (11).

2. Метод, заключающийся в измерении числа фотопротонов, возникающих при фоторасщеплении дейтронов с последующей калибровкой Ra-Be источника по полученному фотонейтронному источнику. Калибровка производится по кривым пространственного распределения нейтронов в воде ( $\rho r^2$ ), полученных разными детекторами (12).

3. Метод регистрации нейтронов по числу заряженных частиц, сопровождающих вылет нейтронов в реакциях  $\text{D}(\text{D}, \text{n})\text{He}^3$  и  $\text{T}(\text{D}, \text{n})\text{He}^4$ . Последующее сравнение таких нейтронных источников с радий-бериллиевым завершало определение полного числа нейтронов, испускаемых исследуемым источником. Сравнение производится в случае  $\text{D} + \text{D}$  с помощью "длинного счетчика", а в случае  $\text{D} + \text{T}$  по кривым пространственного распределения нейтронов в масле.

4. Метод дополнительного поглотителя (13). По измерению относительной активности водного раствора сернокислого марганца, облученного до насыщения нейтронами исследуемого источника в отсутствие и при наличии дополнительного поглотителя - золота, и по абсолютным измерениям активности золота методом  $\beta$ - $\gamma$ -совпадений находилось полное число нейтронов, испускаемых радий-бериллиевым источником в сек.

- 13 -

5. Метод, основанный на измерении абсолютной  $\beta$ -активности марганца, наведенной нейтронами источника в большом объеме водного раствора марганцевокислого калия (14).

6. Метод измерения пространственного распределения нейтронов в воде, окружающей нейтронный источник, камерой, наполненной газом  $\text{BF}_3$ , в котором для точного определения рабочего объема используется разность показаний от двух цилиндрических камер, отличающихся только длиной. Давление газа в камерах одинаково и непрерывно контролируется.

В результате применения описанных методов, особенно методов 1 и 2, удалось определить абсолютное число нейтронов, испускаемых радий - бериллиевым эталоном, с точностью 3%.

Измерение интенсивностей источников нейтронов производится периодически в связи с тем, что радий-бериллиевые источники увеличивают свою интенсивность примерно на полпроцента в год, а также для контроля качества источников.

В качестве стандартного принят следующий набор радий - бериллиевых источников, с содержанием около 1000, 300, 100, 30, 10, 1 мг радия. Каждый набор содержит еще радий - гамма - бериллиевый и плутоний-бериллиевый источники.

Абсолютное число нейтронов, испускаемых каждым источником одного из наборов, определено путем непосредственного сравнения с образцовыми источниками. Этот образцовый набор является набором источников I разряда.

Число нейтронов, испускаемых каждым источником остальных наборов, определяется сравнением с источниками I разряда. Эти источники называются источниками II разряда.

Рабочие нейтронные источники и серийные нейтронные источники калибруются сравнением с источниками разряда, сходными по интенсивности.

Методика сравнения источников не представляет значительных трудностей. В качестве методов, мало чувствительных к различиям в энергетических спектрах нейтронов, используются следующие методы сравнения интенсивностей нейтронных источников:

- а) с помощью графитовой призмы и борной камеры (12);
- б) сравнением площадей кривых пространственного распределения нейтронов в воде, парафине или масле, окружающих нейтронные источники (9 - 13);

- 14 -

- в) с помощью "длинного счетчика";  
 г) путем сопоставления усредненных  $\beta$ - и  $\gamma$ -активностей марганца, полученных в водных растворах марганцевых солей (метод марганцевой ванны).

#### Измерение малых активностей

Существует ряд затруднений при определении радиоактивных веществ в количествах, соответствующих предельно-допустимым концентрациям в воде и воздухе. Можно дать ряд советов общего характера, полезных при такого рода измерениях. К помещениям, в которых находится счетная аппаратура, в этом случае предъявляются дополнительные требования, напр. такие, как удаление от мест, где производятся работы с радиоактивными веществами, и отдельный вход. Еще лучше расположить измерительную лабораторию в подземных сооружениях. Указанные помещения должны проветриваться только кондиционированным воздухом, специально очищенным от пыли и радиоактивных примесей. Во время работ лабораторией должен осуществляться регулярно и очень тщательно полный дозиметрический контроль за всеми видами радиоактивных загрязнений. В процессе приготовления проб и во время измерения их необходимо обращать особое внимание на соблюдение всех предосторожностей против возможного попадания радиоактивных загрязнений в препарат.

Основное требование к измерительной аппаратуре сводится к возможно большему повышению их чувствительности, что может быть достигнуто уже только увеличением стабильности работы источников питания счетчиков или ионизационных камер и снижением фона прибора. Хорошие результаты дает покрытие ионизационной камеры слоем алюминия. Для выполнения последнего из указанных требований применяют детекторы, изготовленные из материалов с минимальным содержанием радиоактивных веществ (стекло, не содержащее калий, сталь). Фон от внешнего проникающего излучения уменьшают с помощью экранов, заменяя свинец ртутью или сталью, а также дополнительно окружая счетчик группой счетчиков, включенных в схему активсовпадений. Для аналогичной цели могут быть использованы также дифференциальные камеры. Активность измеряемых образцов удается повысить при предварительном обогащении определяемым элементом материала, наносимого на мишень. Это может быть осуществлено с помощью одного или сочетанием нескольких хорошо известных в аналитической практике способов, таких, как хроматографическое и

- 15 -

электрохроматографическое разделение, сорбция, осаждения вместе с носителем и просто упаривание раствора. Для измерения малых количеств  $\alpha$  - активных веществ в воде (водных растворах можно рекомендовать дополнительно к описанным в литературе один очень простой по измеряемой технике и вместе с тем очень чувствительный метод (15)).

В этом методе кристаллы  $ZnS (Ag)$  служат одновременно сорбентом радиоактивного вещества и детектором  $\alpha$  - частиц, световые вспышки от которых регистрируются фотоумножителем. Такой метод дает возможность, применяя фотоумножитель с небольшим фотокатодом (диаметром = 35 мм), обнаруживать  $\alpha$  - активные вещества в концентрациях  $\sim 10^{-14}$  Кюри/см<sup>3</sup>, а при удачном подборе pH раствора и небольшом количестве солей даже до  $\sim 10^{-15}$  Кюри/см<sup>3</sup>.

Для обнаружения в воздухе радиоактивных веществ, находящихся в виде газов или паров, необходимо применять очень чувствительные детекторы. Обычно пользуются ионизационными камерами большого объема, иногда в сочетании с дифференциальной схемой регистрации для исключения внешнего фона, реже - счетчиками с большей рабочей поверхностью. В некоторых случаях, например для контроля за содержанием в воздухе  $H^3$ ,  $C^{14}$ , оказывается удобной ионизационная камера, конструкция которой несколько отлична от написанных в литературе. Предлагаемая камера представляет собой цилиндрический конденсатор, внешний электрод которой сделан из металлической сетки, благодаря чему воздух в рабочем объеме камеры сменяется легко. Дополнительная металлическая сетка, находящаяся на расстоянии нескольких сантиметров от внешнего электрода, служит защитой от возможного проникновения ионов из воздуха помещения. Камера регистрирует только ионы, образующиеся в рабочем объеме. Поправка на краевые эффекты у камеры невелика. Для определения радиоактивности аэрозолей существуют различные методы, основанные на измерении активности проб, отобранных из большого объема воздуха. Измерения могут проводиться путем разовых отсчетов, а также непрерывно регистрирующими приборами. В обоих случаях необходимо иметь возможность отличать активность определяемого элемента от активности осажденных вместе с аэрозолями естественных радиоактивных веществ, всегда присутствующих в воздухе. Задача осложняется тем, что пределы колебаний в содержании естественной радиоактивности ( $Rn$ ,  $Tn$  и продукты их распада) могут значительно превысить опреде-

- 16 -

ляемую величину активности аэрозоля. Можно применять для идентификации анализ по энергиям частиц с помощью амплитудных анализаторов или давать выдержку для практически полного исчезновения продуктов распада эманаций. Существенную помощь при проведении такого рода анализов могут принести систематические наблюдения за уровнем естественного фона в помещениях, где проводится такое измерение, а также и на открытом воздухе близлежащих территорий.

## Л и т е р а т у р а

1. Hine G. Brownell, Radiation dosimetry, 1956
2. Аглинцев К.К., Дозиметрия ионизирующего излучения, изд. 2-е. ГТИ, 1957,
3. Петржак К.А. и др., Приборы и техника эксперимента, 1957, июль-август.
4. Бочкарев В.В., Кентим-Маркус И.Б., Львова М.А., Пруслин Л., Измерение активности источников бета и гамма - излучений. Из-во АН СССР, 1953.
5. Кентим-Маркус И.Б., Львова М.А., Метод абсолютных измерений источников бета-излучения с помощью торцевых счетчиков. Сб. Исследования в области дозиметрии ионизирующих излучений. Из-во АН СССР, 1957.
6. Бочкарев В.В., Васильева М.Н., Солодихина Л.Д., Электролитический метод приготовления калиброванных слоев и стандартов излучения. В печати.
7. Юзвук Н.П., Львова М.А., Изготовление образцовых бета-излучателей из  $Co^{60}$ ,  $Tl^{204}$ ,  $Sr^{90}$   $J^{90}$ . В печати.
8. Бан М.А., Петржак К.А., Романов Ю.Ф., Успехи физических наук, 1956, в. 4, т. 58, 667.
9. Anderson H.L., Feld B.J., Rev. Sci. Instr., 1947, 18, 186.
10. Curtiss L.F., Carson A., Phys. Rev., 1949, 76, 2412.
11. Ерозолимский Б.Г., Спивак П.Е., Атомная энергия, 1957, в. 4, т. II, 327.
12. Петржак К.А., Бан М.А., Фереман В.А., Атомная энергия, 1957, в. 4, т. II, 319.

- 17 -

13. Безотосный В.М., Замятин Ю.С., Атомная энергия, 1957, в. 4, т. II, 313.
14. Давиденко В.А., Куир А.М., Атомная энергия, 1957, в. 4, т. II, 334.
15. Косолапов М.Т., Тельковская Т.Д., Цепнер Э.М., Сцинтилляционный метод определения  $\alpha$ -радиоактивных веществ в растворах. В печати.

НЛ